

Mémoire de travail et vieillissement normal

Fabienne Collette^{1,2}, Frédéric Péters², Michaël Hogge¹ et Steve Majerus¹

¹ Département des Sciences Cognitives, Université de Liège

² Centre de Recherche du Cyclotron, Université de Liège

Remerciements

F. Collette bénéficie d'un statut de Chercheur Qualifié, S. Majerus d'un statut de Chargé de Recherche et M. Hogge d'un statut d'Aspirant au Fond National de la Recherche Scientifique (FNRS), Belgique ; F. Péters bénéficie du soutien du Programme P5/04 des Pôles Attractifs Interuniversitaires, Belgique.

Adresse:

Fabienne Collette
Unité de Neuropsychologie
Boulevard du rectorat 3 (B33)
4000 Liège
Belgique
Tel: 32 4 366 22 74
Fax: 32 4 366 28 08
Email: f.collette@ulg.ac.be

LE MODELE DE MEMOIRE DE TRAVAIL DE BADDELEY

La capacité de maintenir une information en mémoire durant un bref laps de temps après sa présentation est fondamentale pour la plupart des activités de la vie quotidienne (par exemple, suivre une conversation, ou retenir un numéro de téléphone durant sa composition). Cette capacité dépend d'un système de mémoire à court terme qui renvoie au fait que toute activité psychologique a une durée qui dépasse l'instant présent.

Différentes formulations théoriques ont été proposées afin de rendre compte des phénomènes de stockage à court terme (voir Majerus, ce volume, pour une revue critique). Parmi celles-ci, un des modèles les plus influents à l'heure actuelle est celui de la mémoire de travail proposé par Baddeley et Hitch (1974 ; voir également Baddeley, 1986). Ce modèle se compose de différents systèmes en interaction, responsables du stockage et/ou du traitement de l'information maintenue de façon temporaire en mémoire. Trois de ces sous-composantes ont été plus particulièrement explorées : la boucle phonologique, le registre visuo-spatial et l'administrateur central.

La boucle phonologique est spécialisée dans le stockage temporaire de l'information verbale. Elle est constituée d'un stock phonologique et d'un processus de récapitulation articulatoire. Le stock phonologique reçoit l'information verbale présentée auditivement, qu'il stocke sous la forme de codes phonologiques. Cependant, l'information ne peut être maintenue dans ce stock que durant une brève période de temps (de l'ordre d'une seconde et demie à deux secondes) mais elle peut y être continuellement réintroduite par l'intermédiaire du processus de récapitulation articulatoire. Ce système de récapitulation est également responsable de l'introduction dans le stock phonologique des informations verbales présentées visuellement, après que ces dernières aient été converties en un code phonologique. Différentes données expérimentales ont conduit à cette conception de la boucle phonologique (pour une présentation détaillée de ces données, voir Baddeley, 1992). Ainsi, le rappel sériel immédiat de lettres ou de mots qui se ressemblent au niveau phonologique est moins bon que le rappel de lettres ou de mots qui diffèrent phonologiquement. Ceci serait lié au fait que le stock phonologique se fonde essentiellement sur un code phonologique et que plus la similarité entre items est grande, plus il est difficile de les distinguer, et donc de les récupérer. Par ailleurs, le rappel sériel immédiat de mots est inversement relié à leur durée de prononciation. Cet effet de longueur est considéré comme étant sous la dépendance du processus de récapitulation articulatoire dans le sens où les mots longs prennent plus de temps à être récapitulés que les mots courts, ce qui permet à la trace mnésique des mots précédents de s'effacer avant que ces mots puissent être réintroduits dans le stock phonologique par l'intermédiaire de la récapitulation articulatoire. Par ailleurs, la répétition itérative d'un son non pertinent durant une tâche de rappel sériel immédiat affecte négativement la performance. La suppression articulatoire abolit l'effet de longueur, que le matériel à mémoriser soit présenté auditivement ou visuellement. Ces effets sont interprétés en considérant que la suppression articulatoire occupe le processus de récapitulation articulatoire, ce qui empêche la récapitulation du matériel à rappeler. De plus, la suppression articulatoire fait disparaître l'effet de similarité phonologique en présentation visuelle mais pas en présentation auditive, ce qui serait lié au fait qu'en présentation visuelle, la récapitulation articulatoire est indispensable au transfert du matériel vers le stock phonologique alors qu'en présentation auditive, le matériel verbal bénéficie d'un accès direct au stock phonologique. Finalement, on a également montré que le rappel sériel de mots présentés visuellement est altéré par la présentation auditive simultanée d'un matériel verbal (significatif ou non). Cet effet de parole interférente s'explique par l'accès automatique du matériel non pertinent dans le stock phonologique, où il interfère avec les représentations phonologiques des items à rappeler (Salamé & Baddeley, 1982).

Le modèle de la mémoire de travail postule par ailleurs l'existence d'un registre visuo-spatial, responsable du maintien temporaire de l'information visuo-spatiale et qui jouerait également un rôle dans la manipulation des images mentales. Bien que le fonctionnement de ce système soit actuellement moins bien compris que celui de la boucle phonologique, Logie (1995) a proposé l'existence d'une composante de stockage de nature visuelle et d'un mécanisme de rafraîchissement de nature spatiale. Les informations maintenues dans le stock visuel sont sujettes au déclin et à l'interférence mais sont récapitulées (et réintroduites dans le stock visuel) au moyen du mécanisme de

récapitulation spatial. Une autre fonction de ce mécanisme de récapitulation spatial concernerait la planification des mouvements en général, et plus spécifiquement la réalisation des mouvements dirigés vers une cible. Les données expérimentales en faveur de deux mécanismes distincts, visuel et spatial, proviennent notamment d'études qui ont montré que la performance à des tâches de mémoire de travail visuelle est sélectivement diminuée lors de la réalisation d'une tâche interférente de nature visuelle (mais pas lors de la réalisation d'une tâche interférente de nature spatiale). Par contre, la performance à une tâche de mémoire de travail spatiale est altérée par la réalisation d'une tâche interférente de nature spatiale, mais pas visuelle (Logie & Marchetti, 1991). Plus récemment toutefois, une série de données expérimentales ont amené à considérer l'existence de systèmes de stockage et de récapitulation distincts pour l'information visuelle et spatiale (pour une revue, voir Repovš & Baddeley, 2006). Par contre, une autre distinction a été introduite, celle entre informations visuo-spatiales statiques et dynamiques. Pickering et al. (2001) ont montré, chez des enfants de 5 à 10 ans, des dissociations pour les performances dans des tâches de mémorisation temporaire impliquant soit la mémorisation d'informations visuo-spatiales (matrices) statiques, soit d'informations visuo-spatiales dynamiques (configurations visuelles en mouvement). Ces auteurs suggèrent qu'une distinction en terme de composants statiques et dynamiques est plus pertinente que la simple distinction entre composants visuel et spatial.

Ces deux systèmes de stockage, boucle phonologique et registre visuo-spatial, sont en contact étroit avec l'administrateur central, lequel est considéré comme un système attentionnel de contrôle qui a notamment pour fonction de sélectionner les stratégies cognitives et de coordonner l'information en provenance de différentes sources (et pas seulement celles issues des systèmes esclaves). Pour Baddeley (1986), le Système de Supervision Attentionnel du modèle de contrôle attentionnel de Norman et Shallice (1986) pourrait constituer une approximation adéquate de l'Administrateur Central. Selon ce modèle, des schémas d'actions (actions routinières) peuvent être exécutés automatiquement tandis que d'autres exigent des ressources de traitement. Pour les auteurs, il existerait deux systèmes de contrôle attentionnel: un système semi-automatique de résolution de conflits entre des actions de routine (Contention Scheduling Mechanism) et un système attentionnel de supervision (SAS) qui n'interviendrait que lorsque la sélection d'actions de routines n'est plus suffisante (par exemple, dans des tâches qui requièrent une planification ou une décision ou lorsqu'un sujet est confronté à des tâches nouvelles ou dangereuses). Baddeley, en 1996, a tenté d'identifier différents fonctions de l'administrateur central: l'allocation de ressources durant la réalisation simultanée de deux tâches, les modifications des stratégies de récupération (telles qu'utilisées dans une tâche de génération aléatoire), l'attention sélective et l'activation des informations en mémoire à long terme.

Plus récemment, Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, Howerter, et Wagner (2000) ont clairement mis en évidence l'existence de plusieurs processus exécutifs distincts. Ces auteurs ont en effet montré, au moyen d'une analyse en variables latentes, que les fonctions de flexibilité, de mise à jour et d'inhibition sont clairement dissociables à un niveau cognitif, bien qu'il existe certaines relations entre elles. Par ailleurs, il existerait également une quatrième fonction, qui concernerait la gestion des tâches doubles. Les résultats de cette étude suggèrent donc que le fonctionnement exécutif se caractérise à la fois par une unité et une diversité de processus. En effet, les trois fonctions exécutives cibles sont clairement distinguables, même si ces fonctions ne sont pas complètement indépendantes et semblent également dépendre de processus sous-jacents commun.

De nombreuses données neuropsychologiques et d'imagerie cérébrale ont contribué à soutenir l'architecture générale du modèle à composants multiples proposé par Baddeley et Hitch, et notamment la distinction entre mécanismes de rétention impliqués dans le stockage passif et ceux impliqués dans le maintien actif et la manipulation (voir Baddeley, 2003 ; Majerus & Van der Linden, 2001). Par contre, il est important de signaler qu'en ce qui concerne les processus précis déterminant le stockage passif d'informations verbales, de nombreuses autres modélisations théoriques ont fait leur apparition afin de mieux rendre compte de certaines données expérimentales qui restent inexplicables par le modèle original de la mémoire de travail (pour une présentation de ces modèles, voir Majerus, ce volume ; Majerus & Van der Linden, 2001). Ainsi, il apparaît que des effets classiquement attribués à la mémoire à long terme peuvent être observés durant la réalisation de tâches de mémoire de travail, et plus précisément lors de tâches d'empan (voir Van der Linden, 1998 ; pour une discussion de cette question). On a par exemple montré que la performance d'empan pour des mots est supérieure à celle

pour des non-mots (Hulme et al., 1991, 1995). De plus, la répétition de non-mots est meilleure lorsque ces items ressemblent à des mots de la langue (Gathercole et al., 1991). D'autres études ont montré un avantage pour le rappel immédiat de listes de mots qui soit appartiennent à la même catégorie sémantique, sont de haute fréquence ou d'imagerie élevée, par rapport à des mots de catégories différentes, de basse fréquence ou d'imagerie faible (Bourassa & Besner, 1994 ; Poirier & Saint-Aubin, 1995 ; Watkins & Watkins, 1977). Ces effets de la fréquence, de l'imagerie et de la catégorie sémantique ne sont pas abolis par la suppression articulatoire, indiquant ainsi leur indépendance par rapport aux opérations de la boucle phonologique. Plus récemment, Della Sala et al. (1998) ont montré qu'un autre effet classiquement attribué au fonctionnement de la mémoire de travail, l'effet de récence peut dépendre de l'activation de représentations en mémoire à long terme. Ces données témoignent donc du fait que l'information lexicale et/ou sémantique peut contribuer à la performance dans une tâche de mémoire de travail.

De plus, il apparaît que même les performances d'empan avec des listes de non-mots peuvent être affectées par les connaissances langagières: le rappel sériel immédiat pour des listes de non-mots composées de combinaisons phonotactiques fréquentes dans la langue maternelle des sujets est meilleur que pour des listes de non-mots composés de combinaisons phonotactiques peu fréquentes. ("l'effet de fréquence phonotactique") (Gathercole, Frankish, Pickering, & Peaker, 1999; Majerus, Van der Linden, Mulder, Meulemans, & Peters, 2004). Ces résultats ont été interprétés comme reflétant l'influence de connaissances sous-lexicales probabilistes sur les performances de rappel en mémoire à court-terme (Gathercole et al., 1999; Majerus et al., 2004).

Différents modèles ont été proposés afin de prendre explicitement en compte les relations qui semblent exister entre stockage verbal à court terme (ou mémoire à court terme verbale, MCTV) et représentations langagières résidentes en mémoire à long terme (voir Majerus, ce volume, pour une description détaillée). Ces modèles se distinguent essentiellement par le statut qu'ils réservent à la MCTV : soit la MCTV est simplement un épiphénomène résultant de l'activation des représentations langagières et de la dégradation en fonction du temps de cette activation (N. Martin & Saffran, 1992), soit la MCTV est représentée comme un ou plusieurs systèmes distincts et spécifiques qui interagissent avec les représentations langagières phonologiques et lexico-sémantiques (R.C. Martin, Lesch & Bartha, 1999 ; Burgess & Hitch, 1999, 2005). Ainsi, N. Martin et Saffran (1992) ont proposé un modèle interactif qui n'envisage pas l'existence d'un système de MCTV distinct du système impliqué dans les activités langagières. Ce modèle postule donc une relation étroite entre la compréhension orale et le stockage à court terme, par le biais de l'activation d'un réseau de représentations phonologiques, sémantiques et lexicales. Par contre, le modèle de R.C. Martin, Lesch, et Bartha (1999), tout en postulant une interdépendance entre les représentations langagières et la MCTV, propose des systèmes de traitement différents pour la MCTV et le traitement langagier. Ce modèle distingue également des niveaux de représentations phonologique, lexical et sémantique.

Plus récemment, Baddeley (2000) a apporté quelques modifications à son modèle initial, composé d'une boucle phonologique, d'un registre visuo-spatial et d'un administrateur central. Plus précisément, Baddeley a ajouté une quatrième composante à ce modèle, la mémoire tampon (« buffer ») épisodique. Ce buffer épisodique constitue un système de capacité limitée, dédié au stockage temporaire d'informations multimodales, et à l'intégration, au sein d'une représentation épisodique unitaire, des informations venant des systèmes esclaves et de la mémoire à long terme. Les activités du buffer épisodique peuvent être influencées et partiellement contrôlées par l'administrateur central. L'ajout de ce buffer épisodique a été proposé afin de résoudre différents problèmes rencontrés par le modèle initial de mémoire de travail, et plus particulièrement (1) la persistance de capacités de rappel sériel lorsque la boucle phonologique n'est plus opérationnelle (par exemple en cas de suppression articulatoire) ; (2) le phénomène de « chunking » (c'est-à-dire des capacités de répétition de phrases largement supérieures au niveau d'empan, en partie parce que les mots peuvent être regroupés en des unités plus larges) ; (3) l'observation que les patients amnésiques ont de très bonnes performances dans le rappel immédiat de récits (qui ne peuvent être attribuées aux capacités de mémoire épisodique, déficitaire chez ces patients, ni à la boucle phonologique dont les capacités sont largement dépassée par les exigences de mémorisation d'un récit contenant 15 à 20 propositions). Notons cependant qu'à ce jour, aucun travail empirique n'a su fournir une preuve formelle pour l'existence de ce buffer épisodique.

Dans les sections suivantes, les données concernant les effets du vieillissement normal sur les capacités de mémorisation à court terme seront présentées. La quasi totalité des travaux s'étant intéressés à cette question se sont placés dans l'optique du modèle de mémoire de travail proposé par Baddeley (1986) (exploration de la boucle phonologique, du registre visuo-spatial et de l'administrateur central). Quelques travaux récents ont exploré l'influence des représentations langagières résidentes en mémoire à long terme, mais ces travaux sont restés descriptifs et n'ont pas tenté de directement contraster la validité des différentes propositions théoriques tentant de rendre compte des effets de mémorisation à court terme.

MEMOIRE DE TRAVAIL ET VIEILLISSEMENT NORMAL

Les systèmes de stockage

De façon assez systématique, il apparaît que le vieillissement est lié à une diminution de performance dans les tâches évaluant le fonctionnement de la mémoire de travail, qu'il s'agisse d'épreuves d'empan verbal (de mots ou de chiffres) ou visuospatial (e.g. Grégoire & Van der Linden, 1997 ; Orsini et al., 1986 ; Spinnler & Tognoni, 1987 ; Verhaegen, Marcoen & Goossens, 1993).

Dans le cadre du modèle de mémoire de travail, plusieurs travaux ont montré que la performance des sujets âgés dans les tâches d'empan verbal était influencée par la longueur et la similarité phonologique (Caplan, Rochon & Waters, 1992 ; Morris, 1984). Plus récemment, Belleville et al. (1996) ont examiné les effets de longueur et de similarité phonologique (en présentation auditive et visuelle) chez des sujets jeunes et âgés normaux. Ces auteurs ont montré que ces effets étaient de même amplitude dans les deux groupes, témoignant d'un fonctionnement normal de la boucle phonologique lors du vieillissement normal (pour des résultats similaires, voir Peters, Majerus, Olivier, Van der Linden, Salmon et Collette, 2006). Dans la même perspective, Beerten, Van der Linden et El Ahmadi (1996) ont également exploré le fonctionnement de la boucle phonologique chez un nombre important de sujets âgés de 30 à 80 ans. Différentes tâches d'empan évaluant les effets de longueur et de similarité phonologique ont été administrées. Par ailleurs, la vitesse d'articulation et la vitesse de traitement ont également été mesurées. Les résultats montrent qu'il existe un effet de l'âge dans toutes les tâches d'empan. Cependant, les effets de longueur et de similarité phonologique ne sont pas affectés par l'âge. Par ailleurs, il apparaît que la vitesse articulaire, et plus généralement la vitesse de traitement, ne constitue pas un médiateur entre l'âge et l'empan verbal. En référence au modèle de Baddeley, ces résultats suggèrent globalement que la diminution de performance associée à l'âge dans les tâches d'empan verbal n'est pas la conséquence d'une difficulté touchant le fonctionnement de la boucle phonologique mais résulte plutôt d'un problème affectant la contribution de l'administrateur central et/ou de la mémoire à long terme.

Finalement, une autre façon d'évaluer le fonctionnement de la boucle phonologique consiste à mesurer l'effet de parole interférente. En utilisant cette procédure, Rouleau et Belleville (1996) ont également obtenu des données indiquant un fonctionnement correct de la boucle phonologique lors du vieillissement normal. Ces auteurs ont comparé, chez des sujets jeunes et âgés, l'effet de différentes tâches interférentes auditives sur la performance d'empan des sujets. Les tâches interférentes consistaient en la présentation d'un bruit blanc, en la lecture d'un texte dans une langue étrangère et dans une langue familière. La performance d'empan dans ces trois conditions a été comparée à une condition sans interférence. Les résultats indiquent un effet d'interférence pour la lecture de textes uniquement, et cet effet est équivalent quelque soit la langue utilisée (confirmant ainsi la nature phonologique et non sémantique de l'effet d'interférence). De façon plus intéressante, il apparaît que cet effet d'interférence est équivalent dans les deux groupes de sujets, témoignant d'un fonctionnement similaire de la boucle phonologique chez des sujets jeunes et âgés.

En ce qui concerne le registre visuo-spatial, les données disponibles sont beaucoup plus limitées. Des différences liées à l'âge ont été observées dans différents tests d'empan spatial (voir par exemple Feyereisen & Van der Linden, 1992). Plus récemment, Bruyer et Scailquin (1999) ont administré à un groupe de sujets jeunes et âgés différentes mesures d'empan visuo-spatial (simultané, séquentiel libre, séquentiel ordonné). Pour toutes ces mesures, le matériel présenté consistait en matrices de taille croissante dont la moitié des cellules était noircie. Chaque matrice était brièvement présentée au sujet, qui devait immédiatement après en reproduire la configuration. L'empan du sujet à

ces tâches correspond au nombre de carrés noircis de la plus grande matrice qu'il a été capable de reproduire. Dans la condition simultanée, la matrice complète était présentée en une fois et le sujet devait la reproduire sans contrainte d'ordre. Dans la condition séquentielle libre, les cellules se noircissaient l'une après l'autre et le sujet reproduisait la matrice finale sans contrainte d'ordre. La même procédure de présentation est utilisée dans la condition séquentielle ordonnée mais cette fois le sujet devait reproduire la matrice finale en respectant l'ordre d'apparition des cellules noircies (condition comparable à la notion de stockage « dynamique » proposé par Pickering et al., 2001). La comparaison de ces trois conditions montre une performance déficitaire chez les sujets âgés, mais de même amplitude pour les trois conditions. Quelques auteurs ont directement comparé la diminution des capacités d'empan pour du matériel verbal et non verbal. Ainsi, dans une étude initiale, Salthouse, Kausler et Sauls (1988) ont montré un déclin parallèle avec l'âge des capacités de rétention pour les informations spatiales et verbales, et plus particulièrement que les participants renaient 0.20 item spatial ou verbal de moins à chaque décennie. Un déclin similaire pour le traitement des informations visuelles et spatiales a également été mis en évidence par Park, Lautenschlager, Davidson, Smith et Smith (2002). Finalement, Shaw, Helmes et Mitchell (2006) ont administré des épreuves mesurant les capacités de mémoire de travail verbale (empan de phrases), visuelle (reconnaissance immédiate de polygones) et spatiale (empan spatial) à un groupe de sujets jeunes, un groupe de sujets moyennement âgés et un groupe de sujets âgés. Leurs résultats ont montré que, si il existait bien une relation entre le vieillissement et une réduction des performances dans chacune de ces tâches, l'âge des participants corrélait d'avantage avec la mémoire verbale qu'avec la mémoire visuelle ou spatiale. Par contre, Jenkins, Myerson, Joerding, et Hale (2000) ont mis en évidence des déficits plus importants aux tâches de mémoire de travail visuo-spatiale que verbale chez les sujets âgés, et ces déficits visuo-spatiaux plus marqués sont également trouvés pour des tâches d'apprentissage de nouvelles informations. Sur base de ces études, il apparaît donc que la nature de ces effets de l'âge sur le maintien en mémoire de travail d'informations visuelles et spatiales reste mal comprise. Le développement récent d'hypothèses quant à la nature de l'information stockée dans le registre visuo-spatial et du système de récapitulation qui permet de la maintenir (voir Baddeley & Repoš, 2006), ou entre des composantes statiques et dynamiques de maintien de l'information visuo-spatiale (voir Pickering et al., 2001) devrait conduire à la mise en place d'études spécifiques chez le sujet âgé.

Le support des représentations langagières en MLT

Ainsi qu'il a été décrit dans la section précédente, un certain nombre d'études ont démontré l'existence d'un support provenant des informations lexicales et sous-lexicales stockées en mémoire à long terme durant la réalisation de tâches d'empan. La diminution des performances d'empan observée au cours du vieillissement normal pourrait être expliquée, au moins en partie, par la réduction de ce support chez les sujets âgés en comparaison avec les sujets jeunes. A notre connaissance, il n'existe qu'une seule étude ayant exploré, au cours du vieillissement, l'intégrité du support provenant des représentations lexicales et sous-lexicales lors de tâches d'empan. Peters et al. (2006) ont examiné l'effet de lexicalité et l'effet de fréquence phonotactique dans un groupe de 20 sujets âgés normaux et un groupe de 20 sujets jeunes. Pour ce faire, ils ont administré des tâches de rappel seriel immédiat impliquant différents types de stimuli verbaux (mots et non-mots comprenant des associations phonotactiques fréquentes ou peu fréquentes dans la langue maternelle des sujets). La meilleure performance de rappel pour les listes de mots par rapport aux listes de non-mots procurait une mesure du support des représentations lexico-sémantiques en mémoire à long terme (l'effet de lexicalité) alors que le support des informations sous-lexicales était mesuré en comparant les performances lorsque les sujets devaient répéter des listes comprenant des non-mots composés d'associations phonotactiques soit fréquentes soit peu fréquentes (l'effet de fréquence phonotactique). Les résultats ont mis en évidence un effet de lexicalité dans les deux groupes de sujets, mais cet effet était significativement plus important chez les sujets jeunes que chez les sujets âgés. Néanmoins, cette diminution de l'effet de lexicalité pourrait provenir des capacités de rappel globalement plus faibles des sujets âgés. Par conséquent, cet effet a été ré-évalué en prenant en compte les capacités individuelles de rappel des participants. Cette seconde analyse ne confirme pas l'effet de groupe précédemment mis en évidence, suggérant que les sujets âgés bénéficient d'un support provenant des représentations lexico-sémantiques proportionnellement comparable à celui observé chez les sujets jeunes. Concernant l'effet de fréquence phonotactique, les résultats indiquent également l'absence de différence liée à l'âge, et ce

tant pour les scores bruts que les scores relatifs. Sur base de cette étude, il semble donc que la diminution des capacités de stockage à court terme observée au cours du vieillissement normal ne puisse être attribuée à une réduction du support exercé par les représentations langagières dans les tâches de stockage temporaire de l'information verbale.

Vieillessement normal et administrateur central

Un grand nombre d'auteurs ont suggéré que le vieillissement normal réduit l'efficacité de l'administrateur central de la mémoire de travail (voir Collette & Van der Linden, 2005, pour une revue de question). En comparaison à des sujets jeunes, les sujets âgés montreraient des performances déficitaires dans des tâches qui nécessitent l'utilisation de ressources de traitement plus importantes. Cependant, plusieurs études ont montré qu'un accroissement des exigences de traitement ne conduisait pas nécessairement à une augmentation des différences liées à l'âge (e.g. Belleville et al., 1998 ; Belleville et al., 1996 ; Grégoire & Van der Linden, 1997). La présence de ces données contradictoires semble résulter en grande partie du caractère trop général des concepts utilisés dans ces études. En effet, les fonctions de l'administrateur central sont relativement mal spécifiées à ce jour. D'autre part, l'administrateur central ayant un fonctionnement hautement intégré avec les systèmes esclaves, il est particulièrement difficile de trouver des tâches dans lesquelles les opérations de ces différentes composantes soient clairement isolées. Dans cette perspective, Morris et Jones (1990) ont récemment montré que la tâche de "running span" permet une approche relativement pure du fonctionnement de l'administrateur central. Dans cette tâche, on présente aux sujets des séquences de consonnes de longueurs différentes, par exemple 4, 6, 8, ou 10 consonnes, sans que les sujets ne soient prévenus à l'avance de la longueur d'une séquence donnée. Les sujets doivent rappeler dans l'ordre les 4 dernières consonnes de chaque séquence. Quand la séquence est de longueur 4, il s'agit tout simplement d'un rappel sériel des 4 items présentés. Par contre, quand la séquence se compose de 6 items ou plus, le sujet doit constamment mettre à jour les consonnes pertinentes en fonction de l'ajout de nouvelles consonnes dans la séquence. Morris et Jones (1990) ont montré que cette tâche était sous-tendue par deux composantes de la mémoire de travail, à savoir la boucle phonologique et l'administrateur central. Le processus flexible de mise à jour exige les ressources de l'administrateur mais pas la boucle phonologique. Inversement, le rappel sériel fait appel à la boucle phonologique mais pas à l'administrateur central.

Van der Linden, Brédart et Beerten (1994) ont utilisé cette tâche de mise à jour afin d'analyser dans quelle mesure les sujets âgés présentent un déficit de l'administrateur central. Dans la première expérience, ils présentent à des sujets jeunes et âgés des listes de 4, 6, 8, and 10 consonnes au rythme d'une consonne par seconde et ils leur demandent de rappeler dans un ordre sériel strict les 4 derniers items. Dans cette condition, la performance en rappel des sujets âgés n'est pas différente de celle des sujets jeunes. Par ailleurs, globalement, les processus de mise à jour ne perturbent que légèrement le rappel. Cette absence d'effet d'âge est interprétée par les auteurs en suggérant que le maintien de 4 items en mémoire de travail n'exige pas beaucoup de ressources de la part de l'administrateur central, ce qui expliquerait pourquoi le rappel n'est que peu affecté par les processus de mise à jour.

En conséquence, les auteurs ont réalisé une deuxième expérience dans laquelle ils ont présentés à d'autres sujets jeunes et âgés des listes de 6, 8, 10 et 12 consonnes et leur ont demandé de rappeler les 6 derniers items : il s'agit d'une charge mnésique qui exige vraisemblablement une contribution plus importante de l'administrateur central. Dans cette condition, les résultats montrent des différences significatives entre sujets jeunes et âgés dans la performance en rappel. Par ailleurs, ces différences s'accroissent à mesure que le nombre de mises à jour à effectuer augmente. Par contre, la réduction des performances en rappel chez les sujets âgés est de même ampleur pour les différentes positions de la séquence à rappeler. Ces résultats suggèrent l'existence chez les sujets âgés d'une diminution des ressources de l'administrateur central, laquelle entrave la réalisation simultanée du maintien en mémoire des consonnes et des opérations de mise à jour. Par ailleurs, l'absence d'interaction entre l'âge et la position sérielle des items indique que les sujets âgés ne présentent pas de déficit des processus de stockage en tant que tels.

Une interprétation similaire, en termes de réduction des capacités de l'administrateur central, a également été proposée par Van der Linden, Beerten, et Pesenti (1998) pour rendre compte des résultats obtenus chez des sujets âgés dans une tâche de génération aléatoire. Selon Baddeley (1996), la production de séquences aléatoires constitue une activité qui requiert les ressources de

l'administrateur central. En effet, quand un sujet essaie de produire des séquences aléatoires de lettres ou de chiffres, il doit sélectionner de nouvelles stratégies, empêcher l'apparition de séquences schématiques (par exemple, des séquences alphabétiques telles que "LMN"), contrôler si les réponses sont suffisamment aléatoires et sinon, changer de stratégie. Toutes ces fonctions de sélection et de contrôle correspondent exactement au rôle que Baddeley assigne à l'administrateur central.

Dans une première expérience, Van der Linden et al. (1998) ont demandé à des sujets jeunes et âgés de produire des séquences aléatoires de lettres à la vitesse d'une lettre toutes les 1, 2, et 4 secondes. Les résultats montrent que les sujets âgés produisent plus de réponses stéréotypées (alphabétiques) que les sujets jeunes et ce même dans la condition la plus lente. De plus, à mesure que la vitesse de production augmente, les sujets âgés omettent de plus en plus souvent de répondre. Dans la deuxième expérience, les sujets devaient générer des séquences de lettres tout en classant des cartes en 1, 2, 4, ou 8 catégories. Des différences liées à l'âge ont été observées pour la plupart des mesures qui ont été utilisées pour évaluer le caractère aléatoire des réponses. De plus, le nombre d'erreurs dans la tâche de classement s'accroît en fonction du nombre de catégories de classement, et ce particulièrement chez les sujets âgés. Globalement, ces résultats peuvent être interprétés en suggérant l'existence d'une réduction globale des ressources de l'administrateur central, ainsi que d'un déficit spécifique touchant la capacité d'inhiber une stratégie de réponse sur-apprise.

Fisk et Warr (1996) ont contesté le point de vue selon lequel les personnes âgées présenteraient des difficultés touchant spécifiquement l'administrateur central de la mémoire de travail. Ils ont en effet montré que les différences liées à l'âge dans le fonctionnement de l'administrateur central (évalué au moyen d'une tâche de génération aléatoire de lettres) pouvaient essentiellement être expliquées par des différences dans la vitesse de traitement. Ces données confirment les nombreuses études réalisées par Salthouse (voir Salthouse, 1996) montrant que les effets de l'âge dans les tâches de mémoire de travail et plus largement dans diverses activités cognitives complexes sont sous-tendus par des différences dans la vitesse avec laquelle des opérations simples de traitement pouvaient être effectuées.

Cependant, dans une étude récente visant à explorer les performances de 151 sujets âgés de 30 à 80 ans dans la tâche de mise à jour (avec rappel de 6 items), Van der Linden et Adam (2006) ont montré que les effets de l'âge observés dans la mise à jour de la mémoire de travail ne pouvaient pas être totalement interprétés sur la base de différences dans la vitesse de traitement (mesurée par une tâche de comparaison de lettres, par une tâche de dénomination de couleurs, et par une tâche de vitesse articulatoire), ni dans les opérations de la boucle phonologique (mesurées par diverses tâches d'empan). Contrairement à ce qu'indiquent Fisk et Warr (1996), il semble donc bien exister une perturbation spécifique de l'administrateur central de la mémoire de travail chez les sujets âgés.

Il faut cependant signaler que toutes les études ayant exploré le fonctionnement de l'administrateur central lors du vieillissement normal n'ont pas mis en évidence des déficits. Ainsi, Baddeley et al. (1986, 2001) ont montré que les sujets âgés n'étaient pas plus gênés que les sujets jeunes lorsqu'ils devaient réaliser deux tâches simultanément. Par ailleurs, Belleville, Rouleau et Caza (1998) ont administré à des sujets jeunes et âgés l'épreuve d'alpha span. Cette épreuve compare le rappel de l'information dans l'ordre de présentation (rappel sériel, ce qui nécessite uniquement un recours à la boucle phonologique) au rappel de l'information en ordre alphabétique (nécessitant l'intervention à la fois de la boucle phonologique et de l'administrateur central). Les résultats obtenus indiquent qu'il existe une diminution de performance de la condition de rappel sériel à la condition de rappel alphabétique, mais que cette diminution est de même amplitude dans les deux groupes de sujets.

Une autre fonction attribuée par Baddeley (1996) à l'administrateur central concerne la capacité d'inhiber les informations non pertinentes. Une altération du fonctionnement inhibiteur a été fréquemment rapportée lors du vieillissement normal. En effet, les sujets âgés présentent, par rapport à des sujets jeunes, des effets d'interférence plus marqués à l'épreuve de Stroop (Dulaney & Rogers, 1994; Hartley, 1993; Houx, Jolles, & Vreeling, 1993; Klein, Ponds, Houx, & Jolles, 1997; Spieler, Balota, & Faust, 1996), des effets réduits de priming négatif (Hasher, Stolzhus, Zacks, & Rypma, 1991; Kane, Hasher, Stolzhus, Zacks, & Connelly, 1994; McDowd & Oseas-Kreger, 1991; Stolzhus et al., 1993; Tipper, 1991; Verhaegen & De Meersman, 1998b), des difficultés à empêcher le traitement d'une information sémantique interférente (Connelly, Hasher, & Zacks, 1991; Duchek, Balota, & Tessing, 1998; Hamm & Hasher, 1992), ou la production d'une réponse sémantique inappropriée mais

fortement induite par le contexte (Andrès & Van der Linden, 2000 ; Hartman & Hasher, 1992). Des déficits d'inhibition motrice ont également été observés au moyen des tâches de stop-signal (Kramer et al., 1994 ; May & Hasher, 1998) et d'anti-saccades (Butler et al., 1999). Finalement des difficultés à supprimer des informations devenues non-pertinentes lors d'épreuves de mémoire explicite (tâches d'oubli dirigé) ont également été rapportées (Andrès et al., 2004 ; Zacks, Hasher, & Radvansky, 1996).

Cependant, un effet délétère de l'avancée en âge sur le fonctionnement inhibiteur n'a pas été systématiquement rapporté. En effet, des effets d'interférence normaux à l'épreuve de Stroop ont également été observés (e.g., Kieley et al., 1997), ou la présence d'effets d'interférence accrus dans le vieillissement semble pouvoir s'interpréter par un ralentissement de la vitesse de traitement (Gamboz, Russo & Fox, 2002 ; Salthouse & Meinz, 1995; Salthouse, Thoth, Hancock, & Woodard, 1997) ou par une diminution des capacités d'intelligence fluide (Shilling et al., 2002). De même, une amplitude de l'effet de priming négatif semblable à celui des sujets jeunes a également été observé (Connelly & Hasher, 1993; Gamboz, Russo & Fox, 2002 ; Kramer et al., 1994; Langley et al., 1998; Sullivan, Faust & Balota, 1995), et les mécanismes inhibiteurs opérant au niveau de l'attention sélective spatiale (tels que l'inhibition de retour) semblent préservés (Hartley & Kieley, 1995).

Dans leur ensemble, ces résultats indiquent donc que tous les processus inhibiteurs ne sont pas affectés par le vieillissement normal. Cependant, très peu d'études ont exploré simultanément dans un même groupe de sujets l'intégrité de différents processus inhibiteurs. Dans ce contexte, Belleville, Rouleau et Van der Linden (2006) ont montré des performances altérées à la fois à la fois dans l'épreuve de Stroop et de Hayling (cette dernière épreuve impliquant l'inhibition d'une réponse sémantique fortement induite par le contexte). Par ailleurs, Kramer, Humphreys et al. (1994) ont administré une batterie de tests d'inhibition à un groupe de sujets jeunes et âgés et ont montré que les personnes âgées avaient plus de difficultés à interrompre une réponse et à inhiber l'application de règles devenues inadéquates dans une tâche de catégorisation. Cependant, les deux groupes de sujets présentent des effets similaires à d'autres mesures d'inhibition (priming négatif, pré-indiçage spatial, compatibilité de réponses). De plus, l'ensemble des mesures d'inhibition présentait peu d'inter-corrélations. Ces éléments ont amené les auteurs à la conclusion d'une atteinte sélective de certains processus inhibiteurs lors du vieillissement normal. Plus récemment, Charlot (2004 ; voir également Charlot & Feyereisen, 2005) ont évalué les capacités d'inhibition sur base de la proposition théorique d'Hasher, Zacks & May (1999 ; voir également Hasher, Tonev, Lustig & Zacks, 2001). Ces auteurs ont distingué trois fonctions inhibitrices principales ayant pour but (1) d'empêcher l'accès en mémoire de travail d'un matériel non pertinent (fonction d'accès) ; (2) de supprimer de la mémoire de travail le matériel qui est devenu non pertinent (fonction de suppression) ; (3) d'empêcher la production de réponses habituelles et activées de façon automatique afin de permettre la mise en place de réponses plus adaptées au contexte (fonction de contrainte). De nouveau, les résultats indiquent que la performance aux épreuves évaluant ces différentes fonctions est peu corrélée, et que les effets du vieillissement se marquent plus sur la fonction d'accès que sur les deux autres fonctions.

Finalement, nous avons exploré les capacités de contrôle inhibiteur dans les domaines de la mémoire de travail, de la mémoire épisodique et de la mémoire sémantique (Collette, Germain & Hogge, 2007). Pour chaque domaine, les capacités d'inhibition étaient évaluées au moyen de deux tâches : une tâche évaluant les capacités d'inhibition intentionnelle, et une autre évaluant les capacités d'inhibition non-intentionnelles. Le caractère intentionnel ou non des processus d'inhibition a été déterminé sur base de la proposition d'Harnishfeger (1995) selon laquelle des processus non-intentionnels prendront en charge la suppression de l'information non pertinente avant l'accès de cette information à la conscience, tandis que les processus intentionnels concernent la suppression consciente et volontaire de certains items. Les épreuves de mémoire de travail consistaient en une tâche d'oubli dirigé à court terme (Reed, 1970) et une épreuve de résolution de l'interférence (Jonides et al., 1998), les épreuves de mémoire épisodique en une tâche d'oubli dirigé à long terme (Bjork, 1989) et une épreuve d'oubli induit à la récupération (Anderson & Spellman, 1995), et finalement les épreuves de mémoire sémantique en la tâche de Hayling (Burgess & Shallice, 1996) et la tâche des ailiers (Shaw, 1991). Les résultats obtenus sont particulièrement clairs et indiquent une performance déficitaire des sujets âgés uniquement lors de la réalisation des tâches nécessitant un contrôle inhibiteur volontaire de l'information (épreuves d'oubli dirigé à court et à long terme, épreuve de Hayling), et ce quelque soit le domaine mnésique investigué. Ces données sont donc compatibles avec

l'hypothèse qu'il existerait une atteinte sélective des processus intentionnels d'inhibition lors du vieillissement normal.

Dans leur ensemble, les résultats de ces trois dernières études témoignent effectivement d'une atteinte sélective de certains processus inhibiteurs lors du vieillissement normal. Cependant, d'autres études seront nécessaires afin de déterminer exactement la nature du déficit d'inhibition présenté par les sujets âgés. Ainsi par exemple, une théorie du vieillissement cognitif considère que les ressources cognitives disponibles pour la réalisation des opérations mentales décline avec l'âge (Park & Hedden, 2001), ce qui amène à des différences liées à l'âge plus importantes sur les tâches qui nécessitent la mise en œuvre des processus contrôlés (plus exigeants en ressources de traitement) que sur celles nécessitant des processus automatiques (Hasher & Zacks, 1979 ; Jennings & Merickle, 1993 ; Light, 1991 ; Titov & Knight, 1997). Dans ce contexte, il pourrait s'avérer intéressant de contraster la performance des sujets âgés à des tâches d'inhibition variant uniquement quant à une implication plus ou moins importante des ressources de traitement.

Une diminution de performance lors du vieillissement normal a également été mise en évidence lors de la réalisation de tâches évaluant d'autres aspects du fonctionnement exécutif (pour des revues, voir Bherer, Belleville & Hudon, 2004 ; Braum & Lalonde, 1990 ; West, 1996). Ainsi, Daigneault, Braun et Whitaker (1992) ont administré différentes tâches exécutives à des sujets jeunes et âgés : une tâche d'auto-organisation (Petrides & Milner, 1982), les labyrinthes de Porteus (Porteus, 1922), le test de Stroop, la tâche de classement de cartes de Wisconsin et des tâches de fluence phonémique et figurale (dans cette dernière épreuve, il s'agit de produire le plus grand nombre possible de dessins sans significations, en un temps donné ; Jones-Gotman & Milner, 1977). Les résultats mettent en évidence des performances faibles chez les sujets âgés à toutes les épreuves, à l'exception des tâches de fluence. Dans un travail ultérieur, Daigneault et Braun (1993) ont de nouveau administré la tâche d'auto-organisation à des sujets jeunes et âgés, cette fois-ci en analysant les résultats d'un point de vue qualitatif. Cette analyse confirme que les sujets âgés commettent plus d'erreurs que les sujets jeunes. En outre, il apparaît que l'utilisation de stratégies de groupement des stimuli améliore significativement la performance des sujets, et ce davantage pour les sujets jeunes. Ces résultats suggèrent que les difficultés observées chez les personnes âgées seraient la conséquence d'une mauvaise utilisation des stratégies, renvoyant ainsi à un déficit du fonctionnement exécutif en tant que tel. Une interprétation légèrement différente des déficits des sujets âgés à cette tâche d'auto-organisation est fournie par Shimamura et Jurica (1994), pour qui ces déficits seraient dus à une sensibilité plus importante à l'interférence proactive. En effet, ces auteurs ont montré que les sujets âgés de 60-70 ans ont une performance similaire à celle des sujets jeunes lors de la première partie de l'épreuve, mais que cette performance se dégrade par la suite, témoignant d'une difficulté à différencier les réponses fournies dans la première partie de celles fournies lors de la seconde partie. La présence d'une sensibilité à l'interférence proactive lors du vieillissement normal a également été démontrée dans une étude de Van der Linden et Bruyer (1991). Dans cette étude, une liste de paires de mots (la liste AB) était présentée pour apprentissage. Ensuite, le premier mot de chacune des paires était présenté et le sujet devait rappeler le mot associé. Les sujets devaient ensuite apprendre une seconde liste de paires de mots (la liste AC), dont le premier mot était le même que dans la première liste. Les sujets devaient alors rappeler le mot associé à la seconde liste suite à la présentation du mot indice. Lors de cette phase de rappel, les sujets âgés avaient significativement plus tendance que les sujets jeunes à rappeler le mot associé de la première liste, ce qui montre la sensibilité particulière des personnes âgées à l'interférence proactive.

Plus récemment, Wecker et al. (2000) ont administré une série d'épreuves exécutives à un groupe de sujets jeunes et de sujets âgés. En éliminant statistiquement l'apport des composantes non-exécutives des tâches, les auteurs ont observé que la capacité à inhiber une réponse automatique, comme la lecture d'un mot dans la tâche de Stroop, est altérée chez les personnes âgées, mais que les capacités d'alternance (évaluées au moyen du Trail-Making test) semblent préservées une fois que tous les aspects non-exécutifs ont été contrôlés (vitesse perceptive et motrice,...). L'intérêt de cette dernière étude est d'avoir clairement mis en évidence l'influence que peuvent éventuellement avoir les aspects non-exécutifs d'une tâche sur la mise en évidence d'un trouble exécutif chez les sujets âgés, et donc l'importance de contrôler adéquatement ces différents processus confondants. Dans ce contexte, nous avons obtenu des données récentes qui semblent montrer que des déficits de flexibilité mentale associés au vieillissement normal dépendent en réalité d'une diminution de l'efficacité de certains

processus attentionnels (Hogge, Polis, & Collette, 2006). Trois tâches de flexibilité reprises et adaptées de Miyake et al. (2000) ont été administrées à un groupe de sujets jeunes et âgés, ainsi qu'une série d'épreuves évaluant différents aspects du fonctionnement attentionnel (alerte, vitesse de traitement, vitesse articulaire, balayage visuel, motilité oculaire). Une des tâches de flexibilité consistait à alterner continuellement entre des traitements arithmétiques d'addition et de soustraction. Une autre tâche consistait en la présentation de figures géométriques de type Navon (par exemple, un grand cercle composé de petits triangles ; Navon 1977) et, en fonction de la couleur de l'item, les sujets devaient donner le nombre de côtés composant la grande ou la petite figure. Finalement, la dernière tâche consistait en la présentation d'une paire composée d'un chiffre et d'une lettre sur un écran et, en fonction de l'emplacement de la paire, il s'agissait d'effectuer un jugement soit sur la lettre (consonne/voyelle) soit sur le chiffre (pair/impair). Les résultats indiquent des difficultés de flexibilité mentale chez les participants âgés, pour chacune des tâches administrées. De plus, l'influence des processus attentionnels sur la composante exécutive de flexibilité apparaît variable d'une tâche à l'autre. Ainsi, l'effet de l'âge sur la tâche de flexibilité concernant les opérations arithmétiques s'explique par la vitesse de traitement et par la vitesse articulaire, alors que l'effet de l'âge sur la tâche de flexibilité concernant les paires de chiffre/lettre s'explique par le balayage visuel. Si ces résultats confirment bien l'existence de difficultés de flexibilité cognitive lors du vieillissement normal, il apparaît cependant que ces difficultés peuvent s'expliquer dans la majorité des cas par un effet de l'âge au niveau de processus attentionnels spécifiques. Ces résultats sont compatibles avec ceux d'autres études ayant également suggéré une influence du fonctionnement attentionnel sur l'intégrité du fonctionnement exécutif (Kray & Lindenberger, 2000; Salthouse et al., 2000).

Vieillesse, mémoire de travail et neuroimagerie fonctionnelle

A ce jour, un certain nombre d'études a tenté de déterminer si les participants âgés mettaient en jeu des réseaux cérébraux similaires à ceux de sujets jeunes lors de la réalisation de différentes tâches cognitives. De façon très générale, les résultats obtenus ont mis en évidence trois patterns d'activité distincts (Grady, 2002). Ainsi, durant la réalisation de ces tâches, les participants jeunes et âgés peuvent soit présenter une activité cérébrale similaire ; soit une diminution de l'activité de certaines régions cérébrales est observée chez les sujets âgés ; soit les sujets âgés recrutent des régions supplémentaires pour réaliser la tâche.

Si la présence d'une diminution de l'activité de certaines régions chez les sujets âgés a été interprétée comme reflétant un niveau de fonctionnement réduit (et cela d'autant plus si cette diminution d'activité cérébrale s'accompagne de performances cognitives dégradées), différentes interprétations ont été fournies au recrutement de régions supplémentaires lors de la réalisation de tâches spécifiques. En effet, pour certains auteurs (e.g., Cabeza et al., 2002), ces régions supplémentaires serviraient à compenser l'efficacité réduite d'autres régions également impliquées dans la tâche. Cette hypothèse de compensation est notamment soutenue par l'existence d'un recrutement de régions supplémentaires (principalement contralatérales) chez des patients cérébro-lésés ayant récupéré certaines fonctions cognitives (voir par exemple Cao et al., 1999). Pour d'autres auteurs toutefois, cette implication de régions supplémentaires ne témoignerait pas de phénomènes de compensation mais plutôt d'un processus de « différenciation ». En d'autres termes, le vieillissement serait associé à une diminution de la spécialisation du système nerveux central, et donc les activités cérébrales supplémentaires reflèteraient une capacité réduite à réaliser des activités focales spécifiques à la tâche et à supprimer l'activité des régions non pertinentes pour la tâche (Li & Lindenberger, 1999).

L'étude la plus élégante ayant essayé de trancher entre les hypothèses de compensation et de différenciation est celle de Cabeza (2002). Ces auteurs ont mesuré le débit sanguin cérébral régional de sujets jeunes et âgés lors de la réalisation d'une épreuve de rappel en mémoire épisodique mettant en jeu, au sein des régions préfrontales, uniquement des régions latéralisées à droite. Les sujets âgés ont été subdivisés en deux groupes selon leur performance cognitive à cette épreuve (comparable ou inférieure à celle des sujets jeunes). Selon l'hypothèse de compensation, les auteurs s'attendaient à observer une réduction de l'asymétrie au sein des régions préfrontales uniquement chez les sujets âgés présentant une bonne performance. Par contre, selon l'hypothèse de différenciation, cette réduction d'asymétrie devait survenir chez les sujets avec une faible performance. Les résultats obtenus sont clairement en faveur de l'hypothèse de compensation. En effet, on observe, comme attendu, une

activité préfrontale latéralisée à droite lors de la réalisation de la tâche chez les sujets jeunes. Cette activité est bilatérale chez les sujets âgés présentant une performance comparable à celle des sujets jeunes, mais elle est par contre plus diffuse, et localisée à droite uniquement, chez les sujets âgés avec une performance plus faible. Au vu de ces résultats, il apparaît donc que les sujets âgés avec la moins bonne performance engagent un réseau similaire à celui des sujets jeunes pour réaliser la tâche mais utilisent ce réseau de façon moins efficace, tandis que les sujets âgés avec une performance satisfaisante contrecarrent le déclin neuronal lié à l'âge à travers une réorganisation des réseaux cérébraux.

La majorité des études qui ont exploré les substrats neuronaux de la mémoire de travail au cours du vieillissement normal ont principalement utilisé des épreuves de reconnaissance dans lesquelles un ensemble d'items est présenté afin que le sujet décide, après un délai variable, si un item cible faisait partie ou non de cet ensemble. Ce type de tâche fait classiquement intervenir, chez les sujets jeunes, les régions préfrontales dorsolatérales et ventrolatérales. La partie dorsolatérale du cortex préfrontal est généralement activée dans des tâches nécessitant la manipulation des stimuli, ou lorsque la charge mnésique en mémoire de travail est importante, alors que la partie ventrolatérale serait d'avantage recrutée durant le maintien de l'information (D'Esposito, Postle, Ballard & Lease, 1999 ; Rypma, Prabhakaran, Desmond, Glover & Gabrieli, 1999 ; Rypma & D'Esposito, 2003).

D'une manière générale, les différences mises en évidence entre sujets jeunes et âgés dans ces études impliquent principalement les régions préfrontales dorsolatérales. Par exemple, Rypma & D'Esposito (2000) ont montré chez des sujets âgés, que l'activité du cortex préfrontal dorsolatéral droit était réduite dans une tâche de reconnaissance immédiate de lettres, mais qu'aucune différence n'était observée entre les groupes de sujets jeunes et âgés au sein du cortex préfrontal ventrolatéral. Dans une revue récente de la littérature, Rajah et D'Esposito (2005) ont montré que, dans un certain nombre d'études, les sujets âgés se différencient également des sujets jeunes par une augmentation de l'activité neuronale dans le cortex préfrontal dorsal gauche (Cabeza, Daselaar, Dolcos, Prince, Budde & Nyberg, 2004 ; Grady, McIntosh, Bookstein, Horwitz, Rapoport & Haxby, 1998 ; Grossman, Cooke, DeVita, Aslop, Detre, Chen et al., 2002 ; Mitchell, Johnson, Raye & D'Esposito, 2000 ; Reuter-Lorenz, Jonides, Smith, Hartley, Miller, Marshuetz et al., 2000 ; Rypma & D'Esposito, 2000). Selon ces auteurs, cette augmentation pourrait refléter un mécanisme de compensation de la part des sujets âgés, résultant du fonctionnement réduit de leur cortex préfrontal dorsal droit. Néanmoins, ce phénomène de compensation n'a pas été observé dans toutes ces études. Par exemple, un phénomène de dédifférenciation a également été décrit au sein du cortex préfrontal dorsal. Ainsi, dans une étude de Reuter-Lorenz et al. (2000), des épreuves de mémoire à court-terme verbale et spatiale (tâche de reconnaissance immédiate de mots ou de localisations spatiales) ont été administrées aux mêmes groupes de sujets. Les résultats indiquent un pattern d'activation bilatéral au sein du cortex préfrontal dorsolatéral pour ces deux tâches chez les participants âgés, alors que les sujets jeunes montrent quant à eux une activité spécifique au niveau du cortex préfrontal dorsolatéral gauche pour la tâche verbale, et de son homologue droit pour la tâche spatiale. Par ailleurs, les résultats montraient également une activité bilatérale de l'aire de Broca chez les sujets âgés alors que, dans le groupe de sujets jeunes, seule la région gauche était activée. Les auteurs ont par contre interprété cette activité bilatérale de l'aire de Broca comme reflétant un mécanisme de compensation mis en œuvre par les participants âgés afin de maintenir le processus de récapitulation articulatoire effectif.

Quelques études ont également tenté de déterminer les modifications de l'activité cérébrale lors de la réalisation de tâches impliquant plus spécifiquement le fonctionnement exécutif. Ainsi, dans une étude récente, Otsukaa, Osakaa, Morishitab, Kondoc et Osakad (2006) ont administré un paradigme de double tâche (l'épreuve d'empan de lecture) et ont confirmé l'augmentation de l'activité au niveau du cortex préfrontal dorsolatéral gauche lors du vieillissement, mais ont surtout montré une diminution d'activité au niveau du cortex cingulaire antérieur. Cette dernière région a été décrite comme plus active chez des sujets jeunes présentant de bonnes performances dans des tâches de mémoire de travail nécessitant une grande attention de la part des participants (Bunge, Klingberg, Jacobsen, & Gabrieli, 2000 ; Osaka, Osaka, Kondo, Morishita, Fukuyama & Shibasaki, 2004).

D'autres études ont plus spécifiquement porté sur les processus d'inhibition. Ainsi, Jonides et al. (2000) ont administré une épreuve d'interférence en mémoire de travail à des sujets jeunes et âgés. Cette épreuve consiste en réalité en une épreuve de mémoire de travail, dans laquelle les sujets doivent décider si un item cible fait ou non partie d'une série d'items présentée juste auparavant. Pour certains

essais, l'item cible n'a pas été présenté dans l'essai en cours, mais a été présenté lors des essais précédents, ce qui induit une situation d'interférence (le sujet devant produire une réponse négative malgré la forte familiarité vis-à-vis de l'item). On observe une augmentation de l'activité du gyrus frontal inférieur gauche chez les sujets jeunes lorsqu'ils se trouvent dans la situation d'interférence, par rapport à une condition similaire de mémoire de travail n'induisant pas ce type d'interférence. Par contre, sur base des données comportementales, il apparaît que les sujets âgés présentent plus de difficultés que les sujets jeunes à résister à l'interférence. De plus, on n'observe pas, chez ces participants âgés, d'activité au niveau de la région frontale inférieure en cas de situation de conflit. Sur base de ces résultats, les auteurs ont conclu que cette région pourrait jouer un rôle spécifique dans la gestion de l'interférence, et serait moins fonctionnelle chez les sujets âgés.

D'autres données cependant sont indicatives du recrutement de régions cérébrales supplémentaires. Ainsi, Nielson et al. (2002) ont administré une épreuve de type « Go/No-go » à des participants jeunes et âgés. De façon globale, plus d'erreurs d'inhibition (réponse aux essais No-go) sont commises avec l'avancée en âge. Par ailleurs, ainsi qu'attendu, l'activité cérébrale lors de l'inhibition des items « No-go » se situe, pour tous les groupes, au niveau des régions préfrontales et pariétales droites. Toutefois, on observe une activité accrue du gyrus frontal moyen droit chez les sujets jeunes, et le recrutement d'un ensemble de régions préfrontales gauches chez les sujets âgés. Ces résultats ont été interprétés en terme de mécanisme de compensation : les sujets âgés présentent plus de difficultés avec la tâche, ce qui est attesté par les mesures comportementales et l'activité réduite au niveau des régions préfrontales droites, et tentent de compenser ces difficultés en recrutant des régions préfrontales contralatérales. Il convient toutefois de signaler que ces erreurs n'ont pas été prises en compte lors des analyses métaboliques.

En résumé, ces différents travaux indiquent effectivement que la performance des sujets âgés aux épreuves de mémoire de travail s'accompagne de modifications de l'activité du réseau cérébral sous-tendant ces différentes tâches. Cependant, ces modifications ont été interprétées soit en termes d'une efficacité réduite de certaines régions, d'une efficacité moindre à réaliser des activités cérébrales focales, ou encore en terme de mécanismes de compensation. Si il apparaît probable que ces différents processus coexistent et interviennent de façon variable selon la tâche utilisée, les données des différentes études présentées ci-dessus ne permettent pas de tirer de conclusions fermes quant à l'implication de ces différents mécanismes, et de leurs relations avec la performance comportementale des sujets. En effet, ces différentes études n'attribuent pas le même statut aux erreurs commises (certaines les prenant en compte dans les analyses et d'autres pas), ce qui a une influence manifeste sur le pattern de résultats d'imagerie fonctionnelle. De plus, aucune de ces études n'a tenté de déterminer l'effet de la difficulté de la tâche en tant que telle. En effet, on pourrait supposer que certaines des tâches administrées présentent un degré de difficulté plus important pour les sujets âgés, dû à leur diminution de ressources de traitement. Comparer les patterns d'activité cérébrale entre sujets jeunes et âgés lorsque les caractéristiques de la tâche ont été manipulées pour la rendre (ou non) de difficulté égale entre les groupes (ainsi qu'attesté par les données comportementales) devrait apporter des informations particulièrement utiles quant à la signification des modifications des réseaux cérébraux associés au vieillissement normal lors de la réalisation d'épreuves de mémoire de travail.

CONCLUSIONS

Les nombreux travaux s'étant intéressés au fonctionnement des différentes composantes de la mémoire de travail lors du vieillissement normal ont mis en évidence un pattern de performance contrasté. Ainsi, si il est clair que les personnes âgées présentent une diminution manifeste de leurs performances d'empan verbal et visuospatial, l'origine de ce déficit n'est pas clairement établie à ce jour. Les différentes sous-composantes de la boucle phonologique apparaissent fonctionnelles, et ne peuvent donc rendre compte des faibles performances d'empan verbal. De même, nous avons vu que le support des représentations résidentes en mémoire à long terme (ainsi qu'attesté par les effets de lexicalité et de fréquence phonotactique) est équivalent entre sujets jeunes et sujets âgés, et ne constitue donc pas de ce fait un bon explicateur des performances d'empan déficitaires. Finalement des déficits de l'administrateur central ont été mis en évidence à plusieurs reprises. En référence aux

différentes fonctions proposées par Miyake et al. (2000), il apparaît que les capacités de mise à jour sont altérées, et que ces déficits ne s'expliquent pas par une diminution de la vitesse de traitement (Van der Linden & Adam, 2006). De même, les performances plus faibles des sujets âgés à une série d'épreuves évaluant les capacités de flexibilité cognitive semblent dépendre de l'influence de facteurs non-exécutifs, principalement de nature attentionnelle (Hogge et al., 2006 ; Wecker et al., 2002). Par contre, il ne semble pas exister une atteinte générale des processus inhibiteurs (Belleville et al., 2006 ; Charlot & Feyereisen, 2005 ; Kramer et al., 1994), et certains des résultats observés semblent indiquer un déficit sélectif des processus intentionnels d'inhibition, en association avec une préservation sélective des processus non-intentionnels (Collette et al., 2007). Finalement, les capacités à simultanément traiter et stocker de l'information apparaissent préservées lors du vieillissement normal. A ce jour, les raisons sous-jacentes à cette diminution de performance aux tâches évaluant les processus cognitifs de haut niveau sont toujours débattues. Pour certains auteurs, ces déficits en mémoire de travail proviendraient d'une diminution des ressources attentionnelles (Craik & Byrd, 1982) tandis que pour d'autres, il s'agirait d'une diminution dans la vitesse de traitement (Salthouse, 1991, 1993), ou d'une diminution de la capacité à inhiber des informations distrayantes (Hasher & Zacks, 1988 ; Zacks & Hasher, 1988). Il n'est cependant pas à exclure que ces différents facteurs interviennent de façon plus ou moins importante selon le type de tâche utilisée.

Une explication plausible aux performances déficitaires d'empan des sujets âgés pourrait donc résider dans l'altération d'un ou de plusieurs de ces processus exécutifs. Ainsi, Lustig, May & Hasher (2001) ont suggéré que les différences d'empan liées à l'âge pourraient être liées à des difficultés à gérer l'interférence produite par la présentation préalable d'items (interférence proactive). Par ailleurs, les différentes études présentées dans ce chapitre semblent indiquer que certains processus exécutifs (mais pas tous) sont en réalité dépendant de l'efficacité d'une série de processus non-exécutif distincts. D'autres études sont cependant nécessaires afin de confirmer ces résultats, et de les intégrer dans un ensemble théorique cohérent.

REFERENCES

- Anderson, M.C. & Spellman, B.A. (1995). On the status of inhibitory mechanisms in cognition : memory retrieval as a model case. Psychological Review, 102, 68-100.
- Andrès, P., & Van der Linden, M. (2000). Age-related differences in supervisory attentional system functions. Journal of Gerontology: Psychological Sciences, 55B, P373-P380.
- Andrès, P., Van der Linden, M., & Parmentier, F. B. (2004). Directed forgetting in working memory: age-related differences. Memory, 12, 248-256.
- Baddeley, A. (2003). Working memory: looking back and looking forward. Nature Review Neuroscience, 4, 829-839.
- Baddeley, A.D. (1986). Working memory. Oxford: Clarendon Press.
- Baddeley, A.D. (1992). Working memory. Science, 255, 556-559.
- Baddeley, A.D. (1996). Exploring the central executive. The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 49A, 5-28.
- Baddeley, A.D. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? Trends in Cognitive Sciences, 4, 417-423.
- Baddeley, A.D., & Hitch, G.J. (1974). Working memory. In G. Bower (Ed.), Recent advances in learning and motivation, vol. 8, (pp. 47-90). New York: Academic press.
- Baddeley, A.D., Baddeley, H.A., Bucks, R.S., Wilcock, G.K. (2001). Attentional control in Alzheimer's disease. Brain, 124, 1492-1508.
- Baddeley, A.D., Logie, R., Bressi, S., Della Sala, S., & Spinnler, H. (1986). Dementia and working memory. The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 38A, 603-618.
- Beerten, A., Van der Linden, M., & El Ahmadi, A. (1996). Nature des différences liées à l'âge dans les tâches d'empan verbal. Communication affichée présentée aux IVèmes Journées d'Etude du Vieillissement Cognitif. Louvain-la-Neuve, Novembre 1996.
- Belleville S, Rouleau N, and Van der Linden M. (2006). Use of the Hayling task to measure inhibition of prepotent responses in normal aging and Alzheimer's disease. Brain and Cognition, 62, 113–119.
- Belleville, S., Peretz, I., & Malenfant, D. (1996). Examination of the working memory components in normal aging and in dementia of the Alzheimer type. Neuropsychologia, 34, 195-207.
- Belleville, S., Rouleau, N., & Caza, N. (1998). Effects of normal aging on the manipulation of information in working memory. Memory and Cognition, 26, 572-583.
- Bherer, L., Belleville, S., Hudon, C. (2004). Le déclin des fonctions exécutives au cours du vieillissement normal, dans la maladie d'Alzheimer et dans la démence frontotemporale. Psychologie et NeuroPsychiatrie du Vieillissement, 2, 181-189.
- Bjork, R.A. (1989). Retrieval inhibition as an adaptative mechanism in human memory. In H.L. Roediger & F.I.M. Craick (Eds.). Varieties of memory and consciousness : Essays in honor of Endel Tulving (pp. 309-330). Hillsdale, NJ : Erlbaum.
- Bourassa, D. C., & Besner, D. (1994). Beyond the articulatory loop: A semantic contribution to serial order recall of subspan lists. Psychonomic Bulletin & Review, 1, 122-125.
- Braun, C., & Lalonde, R. (1990). Le déclin des fonctions cognitives chez la personne âgée: une perspective neuropsychologique. Revue Canadienne du Vieillissement, 9, 135-158.
- Bruyer, R., & Scalquin, J-C. (1999). Assessment of visuospatial short-term memory and effect of aging. European Review of Applied Psychology, 49, 175-180.
- Bunge SA, Klingberg T, Jacobsen RB, Gabrieli JD. (2000). A resource model of the neural basis of executive working memory. Proceeding of the National Academy of Science of United State of America, 97, 3573–3578.

- Burgess, N., & Hitch, G. (1999). Memory for serial order: A network model of the phonological loop and its timing. *Psychological Review*, 106(3), 551-581.
- Burgess, N., & Hitch, G. (2005). Computational models of working memory: putting long-term memory into context. *Trends in Cognitive Science*, 9(11), 535-541.
- Burgess, P.W., & Shallice, T. (1996). Response suppression, initiation and strategy use following frontal lobe lesions. *Neuropsychologia*, 34, 263-273.
- Butler, K. M., Zacks, R. T., & Henderson, J. M. (1999). Suppression of reflexive saccades in younger and older adults: Age comparisons on an antisaccade task. *Memory and Cognition*, 27, 584-591.
- Cabeza R, Daselaar SM, Dolcos F, Prince SE, Budde M, Nyberg L.(2004). Task independent and task-specific age effects on brain activity during working memory, visual attention and episodic retrieval. *Cerebral Cortex*, 14, 364-75.
- Cabeza, R. (2002). Hemispheric asymmetry reduction in older adults: The HAROLD model. *Psychology and Aging*, 17, 85-100.
- Cabeza, R., Anderson, N.D., Locantore, J.K. & McIntosh, A.R. (2002). Aging racefully: Compensatory brain activity in high-performing older adults. *Neuroimage*, 17, 1394-1402.
- Cao, Y., Vikingstad, E.M., Paige George, K., Johnson, A.F. & Welch, K.M.A. (1999). Cortical language activation in stroke patients recovery from aphasia with functional MRI. *Stroke*, 30, 2331-2340.
- Caplan, D., Rochon, E., & Waters, G.S. (1992). Articulatory and phonological determinants of word length effects in span tasks. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 45A(2), 177-192.
- Charlot, V., & Feyereisen, P. (2004). Aging and the deletion function of inhibition. *Aging, Neuropsychology and Cognition*, 11, 12-24.
- Charlot, V., & Feyereisen, P. (2005). Mémoire épisodique et déficit d'inhibition au cours du vieillissement cognitif: un examen de l'hypothèse frontale. *L'Année Psychologique*, 105, 323-357.
- Collette, F., & Van der Linden, M. (2005). La mémoire de travail. In A. M. Ergis, M. C. Gély-Nargeot & M. Van der Linden (Eds.), *Mémoire et maladie d'Alzheimer. Capacités mnésiques perturbées et préservées. Evaluation et prise en charge des troubles mnésiques*. (pp. 35-71). Marseille: Solal.
- Collette, F., Germain, S., Adam, S., & Hogge, M. (2007b). Effects of normal aging on inhibitory processes in the domains of working memory, episodic memory and semantic memory. *En préparation*.
- Connelly, L., & Hasher, L. (1993). Aging and the inhibition of spatial location. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 19, 1238-1250.
- Connelly, S. L., Hasher, L., & Zacks, R. (1991). Age and reading: The impact of distraction. *Psychology and Aging*, 6, 533-541.
- Craick, F.I.M., & Byrd, M. (1982). Aging and cognitive deficits: The role of attentional resources. In F. I. M. Craick & S. Trehub (Eds.), *Aging and cognitive processes*. (pp. 384-420). New York: Plenum.
- D'Esposito M, Postle BR, Ballard D, Lease J. (1999). Maintenance versus manipulation of information held in working memory: an event-related fMRI study. *Brain Cognition*, 41, 66-86.
- Daigneault, S., & Braun, M.J. (1993). Working memory and the self-ordered pointing task: Further evidence of the early prefrontal decline in normal aging. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 15(6), 881-895.
- Daigneault, S., Braun, C.M.J., & Whitaker, H.A. (1992). Early effects of normal aging on perseverative and non-perseverative prefrontal measures. *Developmental Neuropsychology*, 8, 99-114.
- Della Sala, S., Logie, R., Trivelli, C., Cubelli, R., & Marchetti, C. (1998). Dissociation between recency and span: Neuropsychological and experimental evidence. *Neuropsychology*, 12(4), 533-545.
- Duchek, J., Balota, D. A., & Thessing, V. C. (1998). Inhibition of visual and conceptual information during reading in healthy aging and Alzheimer's disease. *Aging, Neuropsychology and Cognition*, 5, 169-181.

- Dulaney, C. L., & Rogers, W. A. (1994). Mechanisms underlying reduction in Stroop interference with practice for young and old adults. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 20, 470-484.
- Feyereisen, P., & Van der Linden, M. (1992). Performance of young and older adults in four memory span tasks. Communication affichée présentée à la Fifth Conference of the European Society for Cognitive Psychology, Paris, Septembre 1992.
- Fisk, J.E., & Warr, P. (1996). Age and working memory: The role of perceptual speed, the central executive, and the phonological loop. Psychology and Aging, 11(2), 316-323.
- Gamboz, N., Russo, R., & Fox, E. (2000). Target selection difficulty, negative priming, and aging. Psychology and Aging, 15, 542-550.
- Gathercole, S. E., Frankish, C. R., Pickering, S. J., & Peaker, S. (1999). Phonotactic influences on short-term memory. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 25(1), 84-95.
- Gathercole, S.E., Willis, C., Emslie, H., & Baddeley, A.D. (1991). The influences of number of syllables and wordlikeness on children's repetition of nonwords. Applied Psycholinguistics, 12, 349-367.
- Grady, C.L. (2002). Introduction to the special section on aging, cognition and neuroimaging. Psychology and Aging, 17, 3-6.
- Grady, C.L., McIntosh, A.R., Bookstein, F., Horwitz, B., Rapoport, S.I., & Haxby, J.V. (1998). Age-related changes in regional cerebral blood flow during working memory for faces. Neuroimage, 8, 409-425.
- Grégoire, J., & Van der Linden, M. (1997). Effect of age on forward and backward digit spans. Aging, Neuropsychology and Cognition, 4(2), 140-149.
- Grossman M, Cooke A, DeVita C, Alsop D, Detre J, Chen W, et al. (2002). Age-related changes in working memory during sentence comprehension: an fMRI study. Neuroimage, 15, 302-17.
- Hamm, V. P., & Hasher, L. (1992). Age and the availability of inferences. Psychology and Aging, 7, 56-64.
- Harnishfeger, K. (1995). The development of cognitive inhibition. Theories, definitions, and research evidence. In F. N. Dempster & C. J. Brainerd (Eds.), Interference and inhibition in cognition (pp. 176-206). London: Academic Press.
- Hartley, A. A. (1993). Evidence for the selective preservation of spatial selective attention in old age. Psychology and Aging, 8, 371-379.
- Hartley, A. A., & Kieley, J. M. (1995). Adult age differences in the inhibition of return of visual attention. Psychology and Aging, 10, 670-684.
- Hartman, M., & Hasher, L. (1991). Aging and suppression: Memory for previously relevant information. Psychology and Aging, 6, 587-594.
- Hasher, L., & Zacks, R. (1979). Automatic and effortful processes in memory. Journal of Experimental Psychology: General, 108, 356-388.
- Hasher, L., & Zacks, R.T. (1988). Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. In G. H. Bower (Ed.), The psychology of learning and motivation (Vol.2). (pp. 193-225). San Diego, CA: Academic Press.
- Hasher, L., Stoltzfus, E.R., Zacks, R.T., & Rypma, B. (1991). Age and inhibition. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 17, 163-169.
- Hasher, L., Tonev, S. T., Lustig, C., & Zacks, R. (2001). Inhibitory control, environmental support, and self-initiated processing in aging. In M. Naveh-Benjamin, M. Moscovitch & H. L. I. Roediger (Eds.), Perspectives on human memory and cognitive aging. Essays in honour of Fergus Craik (pp. 286-297). New York: Psychology Press.
- Hasher, L., Zacks, R. T., & May, C. P. (1999). Inhibitory control, circadian arousal, and age. In D. Gopher & A. Koriath (Eds.), Attention and Performance XVII, Cognitive Regulation of Performance: Interaction of Theory and Application (pp. 653-675). Cambridge, MA: MIT Press.
- Hogge, M., Polis, N., & Collette, F. (2006). Evaluation des capacités de flexibilité dans le

- vieillissement normal. Paper presented at the Réunion de Printemps de la Société de Neuropsychologie de Langue Française., Louvain-la-Neuve, Belgique.
- Houx, P. J., Jolles, J., & Vreeling, F. W. (1993). Aging effects assessed with the Stroop color word test in childhood, adulthood, and aging. Experimental Aging Research, 19, 209-224.
- Hulme, C., Maughan, S., & Brown, G.D.A. (1991). Memory for familiar and unfamiliar words: evidence for a long term memory contribution to short term memory span. Journal of Memory and Language, 30, 685-701.
- Hulme, C., Roodenrys, S., & Mercer, R. (1995). The role of long-term memory mechanisms in memory span. British Journal of Psychology, 86, 527-536.
- Jenkins, L., Myerson, J., Joerding, J.A., & Hale, S. (2000). Converging evidence that visuospatial cognition is more age-sensitive than verbal cognition. Psychology and Aging, 15, 151-175.
- Jennings, J. M., & Merikle, P. M. (1993). Automatic versus intentional uses of memory: Aging, attention, and control. Psychology and Aging, 8, 283-293.
- Jones-Gotman, M., & Milner, B. (1977). Design fluency: The invention of nonsense drawings after focal cortical lesions. Neuropsychologia, 15, 653-674.
- Jonides, J., Marshuetz, C., Smith, E. E., Reuter-Lorenz, P. A., & Koeppe, R. A. (2000). Age differences in behavior and PET activation reveal differences in interference resolution in verbal working memory. Journal of Cognitive Neuroscience, 12, 188-196.
- Jonides, J., Smith, E. E., Marshuetz, C., Koeppe, R. A., & Reuter-Lorenz, P. A. (1998). Inhibition in verbal working memory revealed by brain activation. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA, 95, 8410-8413.
- Kane, M. J., Hasher, L., Stoltzfus, E. R., Zacks, R. T., & Connelly, S. L. (1994). Inhibitory attentional mechanisms and aging. Psychology and Aging, 9, 103-112.
- Kieley, J. M., & Hartley, A. A. (1997). Age-related equivalence of identity suppression in the Stroop color-word task. Psychology and Aging, 12, 22-29.
- Klein, M., Ponds, R., Houx, P. J., & Jolles, J. (1997). Effects of test duration on age-related differences in Stroop interference. Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 19, 77-82.
- Kramer, A. F., Humphrey, D. G., Larish, J. F., Logan, G., & Strayer, D. (1994). Aging and inhibition: Beyond an unitary view of inhibitory processing in attention. Psychology and Aging, 9, 491-512.
- Kray, J., & Lindenberger, U. (2000). Adult age differences in task switching. Psychology and aging, 15, 126-147.
- Langley, L. K., Overmier, J. B., Knopman, D. S., & Prod'Homme, M. S. (1998). Inhibition and habituation: Preserved mechanisms of attentional selection in aging and Alzheimer's disease. Neuropsychology, 12, 353-366.
- Li, S.C., & Lindenberger, U. (1999). Cross-level unification : A computational exploration of the link between deterioration of neurotransmitter systems dedifferentiation of cognitive abilities in old age. In L.G. Nilsson & Markowitsch, H.J. (Eds.), Cognitive Neuroscience of Memory. (pp. 103-146). Seattle : Hogrefe & Huber.
- Light, L. (1991). Memory and aging: Four hypotheses in search of data. Annual Review of Psychology, 42, 333-376.
- Logie, R., & Marchetti, C. (1991). Visuo-spatial working memory: Visual, spatial or central executive? In R. H. Logie & M. Denis (Eds.), Mental images in human cognition. (pp. 105-115). Amsterdam: North Holland Press.
- Logie, R.H. (1995). Visual working memory. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Lustig, C., May, C. P., & Hasher, L. (2001). Working memory span and the role of proactive interference: Individual differences in working memory. Journal of Experimental Psychology: General, 130, 197-207.

- Majerus, S. & Van der Linden, M. (2001). La composante verbale de la mémoire de travail: Le modèle de Baddeley et les conceptions apparentées. In S. Majerus, M. Van der Linden, & Belin, C. (Eds.), Relations entre perception, mémoire de travail et mémoire à long terme. (pp. 13-50). Marseille : Solal.
- Majerus, S., Van der Linden, M., Mulder, L., Meulemans, T., & Peters, F. (2004). Verbal short-term memory reflects the sublexical organization of the phonological language network: Evidence from an incidental phonotactic learning paradigm. *Journal of Memory and Language*, 51, 297-306.
- Martin, N., & Saffran, E. M. (1992). A computational account of deep dysphasia: Evidence from a single case study. *Brain and Language*, 43, 240-274.
- Martin, R. C., Lesch, M. F., & Bartha, M. C. (1999). Independence of input and output phonology in word processing and short-term memory. *Journal of Memory and Language*, 41, 3-29.
- May, C. P., & Hasher, L. (1998). Synchrony effects in inhibitory control over thought and action. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 363-379.
- McDowd, J. M., & Oseas-Kreger, D. M. (1991). Aging, inhibitory processes, and negative priming. *Journal of Gerontology*, 46, P340-P345.
- Mitchell KJ, Johnson MK, Raye CL, D'Esposito M. (2000). fMRI evidence of age-related hippocampal dysfunction in feature binding in working memory. *Brain Research and Cognitive Brain Research*, 10, 197-206.
- Miyake, A., Friedman, N.P., Emerson, N.J., Witzki, A.H., Howerter, A., & Wagner, T.D. (2000). The unity and diversity of executive function and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49-100.
- Morris, N., & Jones, D.M. (1990). Memory updating in working memory: The role of the central executive. *British Journal of Psychology*, 81, 111-121.
- Morris, R.G. (1984). Dementia and the functioning of the articulatory loop system. *Cognitive Neuropsychology*, 7, 143-157.
- Navon, D. (1977). Forest before trees: The precedence of global features in visual perception. *Cognitive Psychology*, 9, 353-383.
- Nielson, K. A., Langenecker, S. A., & Garavan, H. (2002). Differences in the functional neuroanatomy of inhibitory control across the adult life span. *Psychology and Aging*, 17, 56-71.
- Norman, D.A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behavior. In R. J. Davidson, G. E. Schwartz, & D. Shapiro (Eds.), Consciousness and self regulation. Advances in research and theory. (pp. 1-18). New-York: Plenum Press.
- Orsini, A., Chiacchio, L., Cinque, M., Cocchiari, C., Schiappa, O., & Grossi, D. (1986). Effects of age, education and sex on two tests of immediate memory: A study of normal subjects from 20 to 99 years of age. *Perceptual and Motor Skills*, 63, 727-732.
- Osaka N, Osaka M, Kondo H, Morishita M, Fukuyama H, Shibasaki H. (2004). The neural basis of executive function in working memory: an fMRI study based on individual differences. *Neuroimage*, 21, 623-631.
- Otsukaa, Y., Osakaa, N., Morishitab, M., Kondoc, H. & Osakad M. (2006). Decreased activation of anterior cingulate cortex in the working memory of the elderly. *Neuroreport*, 17(14), 1479-82.
- Park, D., & Hedden, T. (2001). Working memory and aging. In M. Naveh-Benjamin, M. Moscovitch & H. L. I. Roediger (Eds.), Perspectives on human memory and cognitive aging. Essays in honour of Fergus Craik (pp. 148-160). Hove: Psychology Press.
- Park, D.C., Lautenschlager, G., Hedden, T., Davidson, N.S., Smith, A.D., Smith, P.K. (2002). Models of visuospatial and verbal memory across the adult life span. *Psychology and Aging*, 17, 299-320.
- Peters F, Majerus S, Olivier L, Van der Linden M, Salmon E, Collette F (2006). A multi-component exploration of verbal short-term storage deficits in normal aging and Alzheimer's disease. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology* ; In press.
- Petrides, M., & Milner, B. (1982). Deficits in subject-ordered tasks after frontal and temporal lobe lesions in man. *Neuropsychologia*, 20, 249-262.

- Pickering, S. J., Gathercole, S. E., Hall, M., & Lloyd, S. A. (2001). Development of memory for pattern and path: Further evidence for the fractionation of visuo-spatial memory. The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 54A, 397-420.
- Poirier, M., & Saint-Aubin, J. (1995). Memory for related and unrelated words: Further evidence on the influence of semantic factors in immediate serial recall. The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 48A, 384-404.
- Porteus, S.D. (1922). Studies in mental deviation. Vineland, NJ: Training School at Vineland.
- Rajah, M.N. & D'Esposito M. (2005). Region-specific changes in prefrontal function with age: a review of PET and fMRI studies on working and episodic memory. Brain, 128, 1964-1983.
- Reed, H. (1970). Studies of interference process in short-term memory. Journal of Experimental Psychology, 84, 452-457.
- Repovš, G., & Baddeley, A. (2006). The multi-component model of working memory: explorations in experimental cognitive psychology. Neuroscience, 139, 5-21.
- Reuter-Lorenz PA, Jonides J, Smith EE, Hartley A, Miller A, Marshuetz C, et al. (2000). Age differences in the frontal lateralization of verbal and spatial working memory revealed by PET. Journal of Cognitive Neuroscience, 12, 174-87.
- Rouleau, N., & Belleville, S. (1996). Irrelevant speech effect in aging: An assessment of inhibitory processes in working memory. Journal of Gerontology: Psychological Sciences, 51B, P356-P363.
- Rypma B, D'Esposito M. (2000). Isolating the neural mechanisms of age-related changes in human working memory. Nature Neuroscience, 3, 509-15.
- Rypma, B., D'Esposito, M. (2003). A subsequent-memory effect in dorsolateral prefrontal cortex. Cognitive Brain Research, 16(2), 162-66.
- Rypma, B., Prabhakaran, V., Desmond, J.E., Glover, G.H. & Gabrieli, J.D.E. (1999). Load-dependant roles of prefrontal brain regions in the maintenance of working memory. Neuroimage, 9, 216-225.
- Salamé, P., & Baddeley, A.D. (1982). Disruption of short-term memory by unattended speech: Implications for the structure of working memory. Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 21, 150-164.
- Salthouse, T. A., & Meinz, E. J. (1995). Aging, inhibition, working memory and speed. Journal of Gerontology: Psychological Sciences, 50, 297-306.
- Salthouse, T. A., Thoth, J. P., Hancock, H. E., & Woodard, J. L. (1997). Controlled and automatic forms of attention: Process purity and the uniqueness of age-related influences. Journal of Gerontology: Psychological Sciences, 52B, P216-P228.
- Salthouse, T.A. (1991). Theoretical perspectives on cognitive aging. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Salthouse, T.A. (1993). Speed mediation of adult age differences in cognition. Developmental Psychology, 29, 722-738.
- Salthouse, T.A. (1996). The processing-speed theory of adult age difference in cognition. Psychological Review, 3, 403-428.
- Salthouse, T.A., Kausler, D.H. & Saults, J.S. (1988). Utilisation of path analysis procedures to investigate the role for processing resources in cognitive aging. Psychology and Aging, 3, 158-166.
- Salthouse, T.A., Toth, J., Daniels, K., Parks, C., Pak, R., Wolbrette, M., & Hocking, K.J. (2000). Effects of aging on efficiency of task switching in a variant of the trail making test. Neuropsychology, 14, 102-111.
- Shaw, R. J. (1991). Age-related increases in the effects of automatic semantic activation. Psychology and Aging, 6, 595-604.
- Shaw, R.M., Helmes, E., & Mitchell, D. (2006). Age-related change in visual, spatial and verbal memory. Australasian Journal on Ageing, 25 (1), 14 -19.
- Shilling, V. M., Chetwynd, A., & Rabbitt, P. M. A. (2002). Individual inconsistency across measures of inhibition: an investigation of the construct validity of inhibition in older adults. Neuropsychologia, 40, 605-619.

- Shimamura, A.P., & Jurica, P.J. (1994). Memory interference effects and aging: Findings from a test of frontal lobe function. Neuropsychology, 8(3), 408-412.
- Spieler, D.H., Balota, D.A., & Faust, M.E. (1996). Stroop performance in healthy younger and older adults and in individuals with dementia of the Alzheimer's type. Journal of Experimental Psychology, 22, 461-479.
- Spinnler, H., & Tognoni, G. (1987). Standardizzazione e taratura italiana di test neuropsicologici. The Italian Journal of neurological Sciences, 6, suppl. 8
- Stoltzfus, E. R., Hasher, L., Zacks, R. T., Ulivi, M. S., & Goldstein, D. (1993). Investigation of inhibition and interference in younger and older adults. Journal of Gerontology, 48, P179-P188.
- Sullivan, M.P., Faust, M.E., & Balota, D.A. (1995). Identity negative priming in older adults and in individuals with dementia of the Alzheimer type. Neuropsychology, 9, 537-555.
- Tipper, S. P. (1991). Less attentional selectivity as a result of declining inhibition in older adults. Bulletin of the Psychonomic Society, 29, 45-47.
- Titov, N., & Knight, R. G. (1997). Adult age differences in controlled and automatic memory processing. Psychology and Aging, 12, 565-573.
- Van der Linden, M. (1998). The relationships between working memory and long-term memory. Académie des Sciences, Paris, Sciences de la vie, 321, 175-177.
- Van der Linden, M., & Adam, S. (2006). Age-related differences in central executive functioning: The contribution of processing speed, resistance to interference, and phonological abilities. En préparation.
- Van der Linden, M., & Bruyer, R. (1991). Interférence proactive chez des sujets âgés vivant en institution ou à domicile. Archives de Psychologie, 59, 313-320.
- Van der Linden, M., Beerten, A., & Pesenti, M. (1998). Age-related differences in random generation. Brain and Cognition, 38(1), 16
- Van der Linden, M., Brédart, S., & Beerten, A. (1994). Age-related differences in updating working memory. British Journal of Psychology, 85, 145-152.
- Verhaeghen, P., & De Meersman, L. (1998a). Aging and the Stroop effect: A meta-analysis. Psychology and Aging, 13, 120-126.
- Verhaeghen, P., & De Meersman, L. (1998b). Aging and the negative priming effect: a meta-analysis. Psychology and Aging, 13, 435-444.
- Verhaeghen, P., Marcoen, A., & Goossens, L. (1993). Facts and fiction about memory aging: A quantitative integration of research findings. Journal of Gerontology: Psychological Sciences, 48, 157-171.
- Watkins, O.C., & Watkins, M.J. (1977). Serial recall and the modality effect: Effects of word frequency. Journal of Experimental Psychology: Human Learning and memory, 3, 712-718.
- Wecker, N.S., Kramer, J.H., Wisniewski, A., Delis, C., Kaplan, E. (2000). Age effects on executive ability. Neuropsychology, 14, 409-414.
- West, R.L. (1996). An application of prefrontal cortex function theory to cognitive aging. Psychological Bulletin, 120, 272-292.
- Zacks, R. T., Hasher, L., & Radvansky, G. (1996). Studies of directed forgetting in older adults. Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 22, 143-156.
- Zacks, R.T., & Hasher, L. (1988). Capacity theory and the processing of inferences. In L. L. Light & D. M. Burke (Eds.), Language, memory and aging. (pp. 154-170). New York: Cambridge University Press.